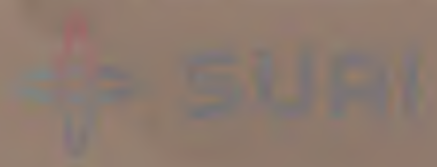


ТЧН.П.  
Кафедра № 3.



Отчет

Защитен с оценкой хор

Преподаватель

доктор, к.ф-м. н, доктор  
физико-математических наук

У  
подпись, дата

Ю.М. Кариев  
инженер, физик

Отчет о лабораторной  
работе № 2  
"Механика Амбуда"

по курсу: общая физика

Работу выполнила  
студентка

[vk.com/club152685050](https://vk.com/club152685050)  
[vk.com/id446425943](https://vk.com/id446425943)

Санкт - Петербург  
2018

# Лабораторная работа

на  
«Машинная Эмбуда»  
Эрстакон измерений

Студент группы

Преподаватель

✓

Царев Ю. М.

Параметры приборов

Название прибора	Предел измерения	Цена деления	Класс точности	Величина погрешности
Секундомер	99,999 с	1 мс	—	0,001 с
Миллиметр	50 мм	0,1 мм	—	2 мм

$S_1 = 15 \text{ мм}$

[vk.com/club152685050](https://vk.com/club152685050)  
[vk.com/id446425943](https://vk.com/id446425943)

Таблица 1

N	1	2	3	4	5			
$S_2, \text{мм}$	21	22	23	24	25			
$t_2, \text{с}$	0,634 0,671	0,625 0,668	0,640 0,662	0,653 0,657	0,651 0,718	0,709 0,716	0,737 0,821	0,801

$S_2 = 18 \text{ мм}$

Таблица 2

$u$	1	2	3	4	5										
$S_{1, \text{cm}}$	19	18	17	16	15										
$t_{1, \text{с}}$	0,427	0,418	0,401	0,434	0,431	0,437	0,446	0,454	0,449	0,462	0,466	0,461	0,483	0,479	0,485

Дата

№

Подпись студента  
Подпись преподавателя



$t_2$  - время равномерного движения.

Формула скорости:  $v = \frac{S_2}{t_1}$  (2),

где  $v$  - скорость равномерного движения груза на участке пути;  $S_2$ ,  $t_2$  - время равномерного пути,  $S_2$  - путь равномерного движения.

$v_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{N}$  (3), где  $v_{cp}$  - среднее значение скорости,  $N$  - число измерений.

$a_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{N}$  (4), где  $a_{cp}$  - среднее значение скорости,  $N$  - число измерений.

#### 4. Результаты измерений

$S_1 = 13 \text{ см}$

Таблица 4.1. Равномерное движение.

N	1	2	3	4	5
$S_1, \text{см}$	11	22	33	44	55
$t_2, \text{с}$	0,634	0,621	0,625	0,666	0,650
$v, \text{м/с}$	0,333	0,338	0,336	0,330	0,352
$a, \text{м/с}^2$	0,267	0,273	0,271	0,280	0,286

$S_2 = 18 \text{ см}$

Таблица 4.2

Равноускоренное движение

N	1	2	3	4	5
$S_2, \text{см}$	19	18	17	16	15
$t_2, \text{с}$	0,427	0,428	0,421	0,434	0,431
$v, \text{м/с}$	0,445	0,444	0,454	0,415	0,427
$a, \text{м/с}^2$	0,235	0,234	0,238	0,207	0,209

Таблица 4.2

$\Delta v, \text{м/с}$	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
$\Delta a, \text{м/с}^2$	0,016	0,017	0,017	0,016	0,016

5. Пример вычисления:  $0,001$  - погрешность

По формуле (2) скорость при равномерном движении  $v = \frac{0,21}{0,634} = 0,331 \text{ (м/с)}$

По формуле (1) ускорение при равномерном движении  $a = \frac{0,21^2}{2 \cdot 0,13 \cdot 0,634} = 0,268 \text{ (м/с}^2\text{)}$

По формуле (2) скорость при равномерном движении  $v = \frac{0,19}{0,427} = 0,445 \text{ (м/с)}$

По формуле (1) ускорение при равномерном движении  $a = \frac{0,19^2}{2 \cdot 0,427 \cdot 0,18} = 0,235 \text{ (м/с}^2\text{)}$

6. Вычисление погрешностей.

6.1 Вывод формулы систематической погрешности

$$\Theta_f = \left| \frac{\partial f}{\partial x_1} \right| \cdot \Theta_{x_1} + \left| \frac{\partial f}{\partial x_2} \right| \cdot \Theta_{x_2} + \left| \frac{\partial f}{\partial x_3} \right| \cdot \Theta_{x_3}$$

$$\Theta_f = |f'_{x_1}| \cdot \Theta_{x_1} + |f'_{x_2}| \cdot \Theta_{x_2} + |f'_{x_3}| \cdot \Theta_{x_3}$$

$$\Theta_v = v \left( \frac{\Theta_{s_2}}{s_2} + \frac{\Theta_t}{t} \right);$$

$$\Theta_a = a \left( \frac{\Theta_{s_1}}{s_1} + \frac{2\Theta_{s_2}}{s_2} + \frac{2\Theta_t}{t} \right);$$

где  $\frac{\partial f}{\partial x_i}$  - частные производные ф-ции  $f(x_1, x_2, x_3)$  по соответствующей переменной  $x_i$ ,  $\Theta_{x_1}$ ,  $\Theta_{x_2}$ ,  $\Theta_{x_3}$  - систематические погрешности прямых измерений;  $f'_{x_i}$  - частная производная функции  $f(x_1, x_2, x_3)$  по соответствующей переменной  $x_i$ ;  $\Theta_f$  - систематическая погрешность косвенного измерения.

Вычисление погрешностей по введенным ф-ам:

$$\Theta_{v_1} = v_1 \left( \frac{\Theta_{s_2}}{s_2} + \frac{\Theta_{t_1}}{t_1} \right) = 0,331 \cdot \left( \frac{0,002}{0,21} + \frac{0,001}{0,634} \right) = 0,0038 =$$

$$= 0,004 \text{ (м/с)}$$



задание 147-3а

$$\Theta_{v_{15}} = v_{15} \left( \frac{\Theta_{s_1}}{s_1} + \frac{\Theta_t}{t_{15}} \right) = 0,308 \left( \frac{0,002}{0,25} + \frac{0,001}{0,808} \right) = 0,003 (\text{м/с})$$

$$\Theta_{a_1} = a_1 \left( \frac{\Theta_{s_1}}{s_1} + \frac{2 \Theta_{s_2}}{s_2} + \frac{2 \Theta_t}{t} \right) =$$

$$= 0,267 \cdot \left( \frac{0,02}{0,13} + \frac{2 \cdot 0,002}{0,21} + \frac{2 \cdot 0,001}{0,654} \right) = 0,0460 (\text{м/с}^2)$$

$$\Theta_{a_{15}} = a_{15} \cdot \left( \frac{\Theta_{s_1}}{s_1} + \frac{2 \Theta_{s_2}}{s_2} + \frac{2 \Theta_t}{t} \right) =$$

$$= 0,297 \left( \frac{0,02}{0,13} + \frac{2 \cdot 0,002}{0,25} + \frac{2 \cdot 0,001}{0,817} \right) = 0,042$$

Данные вычисления были найдены для равномерного движения, где  $\Theta_{s_1}, \Theta_{s_2}, \Theta_t$  даны в условии и равны:

$$\Theta_{s_1} = \Theta_{s_2} = 0,002 \text{ м}$$

$$\Theta_t = 0,001 \text{ с}$$

[vk.com/club152685050](https://vk.com/club152685050)

[vk.com/id446425943](https://vk.com/id446425943)

$$\Theta_{v_1} = v_1 \left( \frac{\Theta_{s_1}}{s_1} + \frac{\Theta_t}{t_1} \right) = 0,445 \cdot \left( \frac{0,002}{0,19} + \frac{0,001}{0,427} \right) =$$

$$= 0,0057 = 0,006 (\text{м/с})$$

$$\Theta_{v_{15}} = \frac{0,308}{v_{15}} \left( \frac{0,002}{0,15} + \frac{0,001}{0,485} \right) = 0,0047 = 0,005 (\text{м/с})$$

$$\Theta_{a_1} = 0,235 \left( \frac{0,002}{0,18} + \frac{2 \cdot 0,002}{0,19} + \frac{2 \cdot 0,001}{0,427} \right) =$$

$$= 0,02026543 \approx 0,020 (\text{м/с}^2)$$

$$\Theta_{a_{15}} = 0,129 \left( \frac{0,002}{0,18} + \frac{2 \cdot 0,002}{0,15} + \frac{2 \cdot 0,001}{0,485} \right) =$$

$$= 0,01112873 \approx 0,011 (\text{м/с}^2)$$

Данные вычисления были найдены для равномерного движения, где  $\Theta_{s_1} = \Theta_{s_2} = 0,002 \text{ (м)}$ ,  $\Theta_t = 0,001 \text{ (с)}$

6.2 Для вычисления квадратной погрешности и для среднего квадратного отклонения скорости и ускорения  $v_{cp}$  и  $a_{cp}$  (средние значения)

По формуле (3), (4) найдем средние значения для равномерного движения:

$$v_{cp} = \frac{0,331 + 0,338 + 0,336 + 0,330 + 0,352 + 0,332 + 0,337 + 0,338 + 0,331 + 0,324 + 0,302 + 0,309}{15} = 0,334 \text{ (м/с)}$$

$$a_{cp} = \frac{0,267 + 0,273 + 0,271 + 0,280 + 0,286 + 0,298 + 0,299 + 0,329 + 0,290 + 0,297 + 0,312 + 0,305}{15} = 0,290 \text{ (м/с}^2\text{)}$$

[vk.com/club152685050](https://vk.com/club152685050)  
[vk.com/id446425943](https://vk.com/id446425943)

По формуле (3), (4) найдем средние значения для равноускоренного движения

$$v_{cp} = \frac{0,445 + 0,444 + 0,451 + 0,415 + 0,427 + 0,417 + 0,381 + 0,374 + 0,379 + 0,346 + 0,343 + 0,347 + 0,310 + 0,313 + 0,309}{15} = 0,380 \text{ (м/с)}$$

$$a_{cp} = \frac{0,235 + 0,234 + 0,238 + 0,207 + 0,209 + 0,208 + 0,18 + 0,177 + 0,179 + 0,154 + 0,152 + 0,154 + 0,129 + 0,130 + 0,129}{15} = 0,181 \text{ (м/с}^2\text{)}$$

6.3 Средние квадратичная погрешность отдельного измерения

$$S_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (v_i - v_{cp})^2}{n-1}}; \quad S_a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (a_i - a_{cp})^2}{n-1}}$$



Скорость груза

$$S_v = \sqrt{\frac{(0,331-0,331)^2 + (0,338-0,331)^2 + (0,336-0,331)^2 + (0,330-0,331)^2 + (0,352-0,331)^2 + (0,332-0,331)^2 + (0,337-0,331)^2 + (0,331-0,331)^2 + (0,338-0,331)^2 + (0,330-0,331)^2 + (0,338-0,331)^2 + (0,331-0,331)^2 + (0,324-0,331)^2 + (0,302-0,331)^2 + (0,309-0,331)^2}{14}} = \sqrt{0,006418} = 0,015 (\text{м/с})$$

Ускорение груза

$$S_a = \sqrt{\frac{(0,267-0,231)^2 + (0,273-0,231)^2 + (0,271-0,231)^2 + (0,280-0,231)^2 + (0,286-0,231)^2 + (0,281-0,231)^2 + (0,298-0,231)^2 + (0,298-0,231)^2 + (0,299-0,231)^2 + (0,304-0,231)^2 + (0,312-0,231)^2 + (0,305-0,231)^2 + (0,329-0,231)^2 + (0,290-0,231)^2 + (0,297-0,231)^2}{14}} = \sqrt{0,014868} = 0,03909 (\text{м/с}^2)$$

[vk.com/club152685050](https://vk.com/club152685050)  
[vk.com/id446425943](https://vk.com/id446425943)

6.3.2. Для таблицы 4.2.

Скорость груза

$$S_v = \sqrt{\frac{(0,445-0,380)^2 + (0,444-0,380)^2 + (0,451-0,380)^2 + (0,415-0,380)^2 + (0,417-0,380)^2 + (0,381-0,380)^2 + (0,374-0,380)^2 + (0,379-0,380)^2 + (0,346-0,380)^2 + (0,343-0,380)^2 + (0,347-0,380)^2 + (0,310-0,380)^2 + (0,313-0,380)^2 + (0,309-0,380)^2}{14}} = \sqrt{0,036247} = 0,04956$$

$$\approx 0,05 \text{ м/с}$$

Ускорение груза.

$$S_a = \sqrt{\frac{(0,235 - 0,181)^2 + (0,234 - 0,181)^2 + (0,238 - 0,181)^2 + (0,204 - 0,181)^2 + (0,209 - 0,181)^2 + (0,208 - 0,181)^2 + (0,180 - 0,181)^2 + (0,174 - 0,181)^2 + (0,179 - 0,181)^2 + (0,154 - 0,181)^2 + (0,152 - 0,181)^2 + (0,154 - 0,181)^2 + (0,129 - 0,181)^2 + (0,130 - 0,181)^2 + (0,129 - 0,181)^2}{14}} = \sqrt{\frac{0,021492}{14}} = 0,0992 \approx 0,09 (\text{м/с})$$

6.4 Среднее квадратическое отклонение

$$S_{vcp} = \sqrt{\frac{(v_1 - v_{cp})^2 + (v_2 - v_{cp})^2 + \dots + (v_N - v_{cp})^2}{(N-1) \cdot N}} = \frac{S_v}{\sqrt{N}}$$

$$S_{acp} = \sqrt{\frac{(a_1 - a_{cp})^2 + (a_2 - a_{cp})^2 + \dots + (a_N - a_{cp})^2}{(N-1) \cdot N}} = \frac{S_a}{\sqrt{N}}$$

6.4.1. Для таблицы 4.1

$$S_{vcp} = \frac{S_v}{\sqrt{N}} = \frac{0,015}{\sqrt{15}} = 0,004 (\text{м/с})$$

$$S_{acp} = \frac{S_a}{\sqrt{N}} = \frac{0,039}{\sqrt{15}} = 0,010 (\text{м/с}^2)$$

Для таблицы 4.2

$$S_{vcp} = \frac{S_v}{\sqrt{N}} = \frac{0,05}{\sqrt{15}} = 0,013 (\text{м/с})$$

$$S_{acp} = \frac{S_a}{\sqrt{N}} = \frac{0,09}{\sqrt{15}} = 0,023 (\text{м/с}^2)$$

В данной работе проводится измерение скорости и ускорения, проверяем неравенства:  
 $S_{v_i} \leq \Theta_v$ ,  $S_{vcp} < \Theta_v$ ;  $S_{a_i} \leq \Theta_a$ ,  $S_{acp} < \Theta_a$

Для таблицы 4.1

$$0,015 > 0,003, \text{ т.е. } S_v > \Theta_v$$

$$0,004 \sim 0,003, \text{ т.е. } S_{vcp} \sim \Theta_v$$

$$0,04 > 0,012, \text{ т.е. } S_a > \Theta_a$$

$$0,010 < 0,012, \text{ т.е. } S_{acp} < \Theta_a$$

Для таблицы 4.2

$$0,05 > 0,005, \text{ т.е. } S_v > \Theta_v$$

$$0,013 > 0,005, \text{ т.е. } S_{vcp} > \Theta_v$$

$$0,09 > 0,014, \text{ т.е. } S_a > \Theta_a$$

$$0,023 > 0,014, \text{ т.е. } S_{acp} > \Theta_a$$



Данное неравенство говорит о том, что  
либо допущены значительные промахи  
в измерениях; либо они возникли из-за  
высоких измерительных приборов на  
процесс измерения

### 6.5. Полная погрешность

[vk.com/club152685050](https://vk.com/club152685050)

[vk.com/id446425943](https://vk.com/id446425943)

В случае поведения технических испытаний  
идеальное дело со случайными по приро-  
де величинами, происходит разбор случай-  
ных параметров по различным  
причинам, тогда случайная погрешность  
серии измерений и систематическую  
погрешность связанную с несовершенством  
измерительных приборов объединяют в  
полную погрешность.

$$\Delta \bar{v} = \bar{v}_0 + k \cdot S_{\text{сер.}}, \text{ где}$$

$k$  - коэффициент Studenta, для  $n$  то равной 2,3

$\Delta \bar{v}$  - полная погрешность измерений

Тогда, для равномерного движения:

$$\Delta \bar{v} = \bar{v}_{\text{сер}} + k \cdot S_{\text{сер}} \approx 0,003 + 2,3 \cdot 0,004 = 0,0122 \approx 0,012 (\text{м/с})$$

$$\Delta \bar{a} = \bar{a}_{\text{сер}} + k \cdot S_{\text{сер}} \approx 0,012 + 2,3 \cdot 0,010 = 0,035 \approx 0,04 (\text{м/с}^2)$$

Для равноускоренного движения:

$$\Delta \bar{v} = \bar{v}_{\text{сер}} + k \cdot S_{\text{сер}} \approx 0,005 + 2,3 \cdot 0,013 = 0,03497 \approx 0,04 (\text{м/с})$$

$$\Delta \bar{a} = \bar{a}_{\text{сер}} + k \cdot S_{\text{сер}} \approx 0,044 + 2,3 \cdot 0,0579 = 0,0639 \approx 0,07 (\text{м/с}^2)$$

На графике 7.1 для равномерного движения  
через (крестики) удалось провести прямую  
сильное отклонения имеет лишь один, а  
число выше и ниже прямой совпадает, значит  
экспериментальные данные подтверждают  
теоретическую зависимость. А также в  
следствии опытов ложное измерение  
выявлено правильно.

На графике 7.2 для равноускоренного  
движения через (наклон) удалось провести  
прямую, сильных отклонений нет, а  
число выше и ниже прямой, примерно,  
одинаково. Экспериментальные данные подтвер-  
ждают теоретическую зависимость



## 7. Теоретическое изображение результатов.

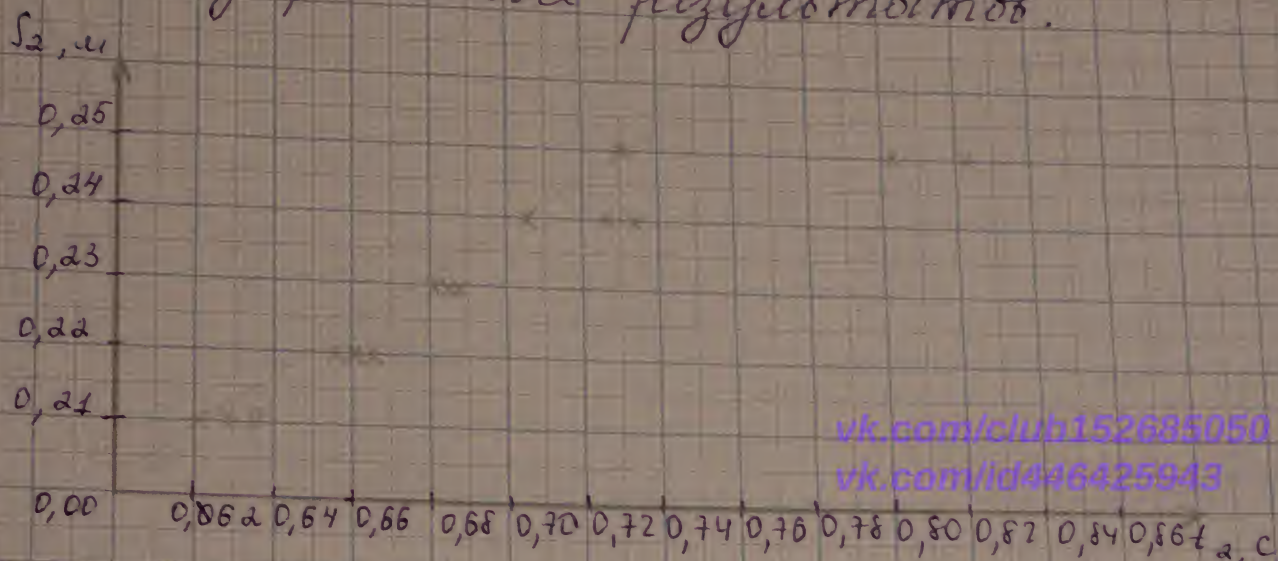


Рисунок 7.1 Зависимость равномерного движения.

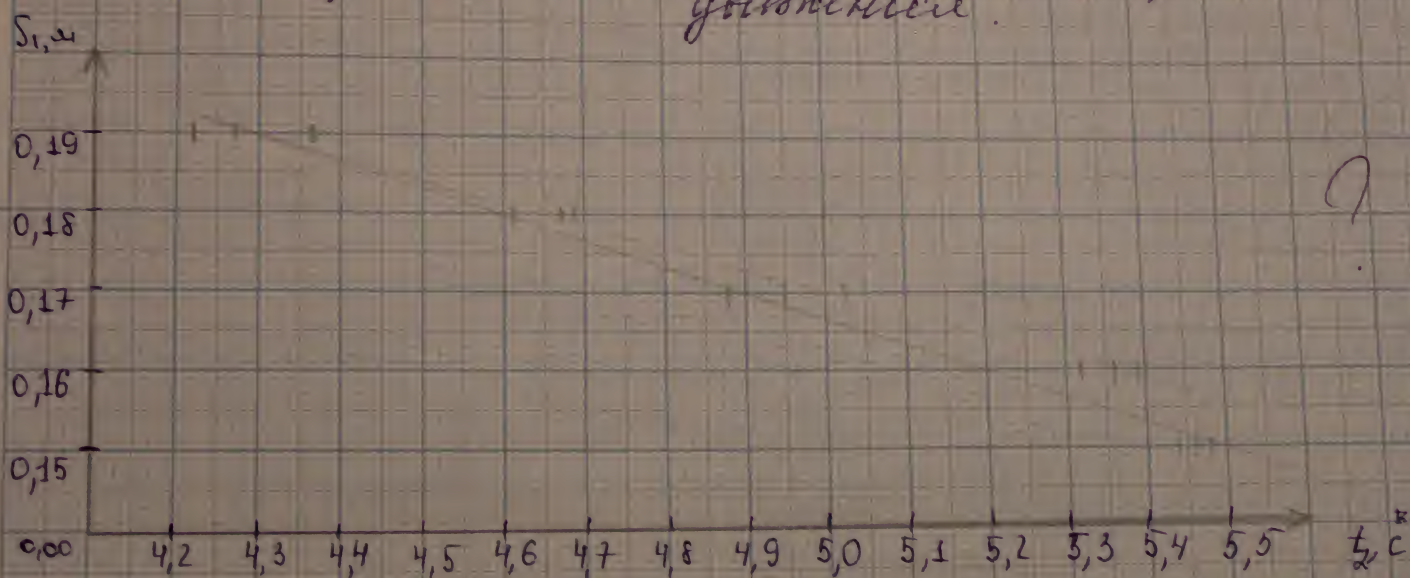


Рисунок 7.2. Зависимость равноускоренного движения.



8

Вывод:

[vk.com/club152685050](https://vk.com/club152685050)

[vk.com/id446425943](https://vk.com/id446425943)

- Ознакомившись с методикой проведения равномерного и равноускоренного движений
- Скорость грузов при равномерном движении  $v = (0,334 \pm 0,012) \text{ м/с}$
- Скорость грузов при равноускоренном движении  $v = (0,38 \pm 0,04) \text{ м/с}$  с вероятностью 95%
- Ускорение грузов при равноускоренном движении  $a = (0,43 \pm 0,04) \text{ м/с}^2$  с вероятностью  $P = 95\%$ .
- Из проводимых опытов, видно, что не каждая скорость из таблицы 4.1 отличается от  $v_{гр}$ , или из таблицы 4.2 от  $v_{гр.2}$  менее чем на  $\Delta v$  или зависит от измеренных величин. Такая же ситуация с ускорением.
- Экспериментальные данные подтверждают теоретическую зависимость, что видно из графиков для равноускоренного и равномерного движения